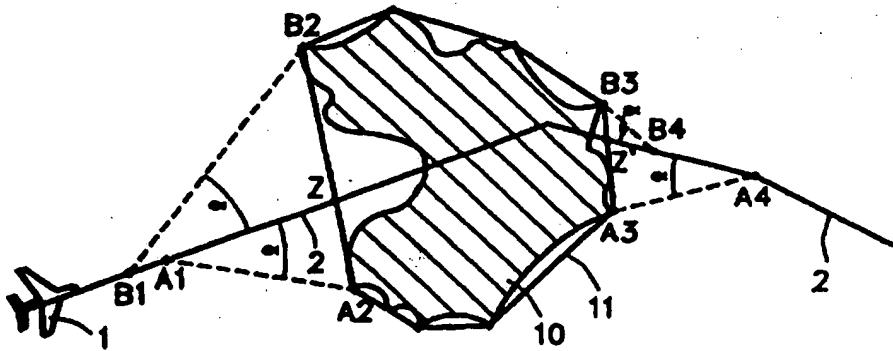


## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>G01C 21/00</b>		A1	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 97/47946</b>
			(43) Date de publication internationale: 18 décembre 1997 (18.12.97)
(21) Numéro de la demande internationale: <b>PCT/FR97/00970</b>		(81) Etats désignés: CA, CN, JP, SG, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Date de dépôt international: 3 juin 1997 (03.06.97)			
(30) Données relatives à la priorité: 96/07076 7 juin 1996 (07.06.96)		FR	Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i>
(71) Déposant ( <i>pour tous les Etats désignés sauf US</i> ): SEXTANT AVIONIQUE [FR/FR]; Aérodrome de Villacoublay, F-78140 Vélizy Villacoublay (FR).			
(72) Inventeur; et			
(75) Inventeur/Déposant ( <i>US seulement</i> ): DEKER, Guy [FR/FR]; Thomson-CSF S.C.P.I., 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).			
(74) Mandataire: THOMSON-CSF S.C.P.I.; 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).			

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A VEHICLE IN ORDER TO CHANGE COURSE AND APPLICATION OF METHOD FOR THE LATERAL AVOIDANCE OF A ZONE

(54) Titre: PROCEDE DE PILOTAGE D'UN VEHICULE EN VUE D'EFFECTUER UN CHANGEMENT DE CAP ET APPLICATION DU PROCEDE AU CONTOURNEMENT LATERAL D'UNE ZONE



## (57) Abstract

For controlling a vehicle in order to change course, the vehicle (1) following a first rectilinear route portion (R1), to join a second rectilinear route portion (R2) forming a predetermined angle ( $\theta$ ) with the first route portion (R1), passing through the junction point (A) between the two route portions (R1, R2), a method is proposed which involves computing a curved trajectory (17) to be followed by the vehicle (1) for a change of course, passing through the said junction point (A), of which the gyration centre (O) is found on the internal bisectrix (3) of the angle ( $\theta$ ) formed by the two route portions (R1, R2).

**BEST AVAILABLE COPY**

(57) Abrégé

Pour le pilotage d'un véhicule en vue d'effectuer un changement de cap, le véhicule (1) suivant une première portion de route (R1) rectiligne, pour rejoindre une seconde portion de route (R2) rectiligne formant un angle prédéterminé ( $\theta$ ) avec la première portion de route (R1), en passant par le point de jonction (A) entre les deux portions de route (R1, R2), le procédé selon l'invention comprend le calcul et le suivi par le véhicule (1) d'une trajectoire courbe (17) de changement de cap passant par ledit point de jonction (A), dont le centre de giration (O) se trouve sur la bissectrice intérieure (3) de l'angle ( $\theta$ ) formé par les deux points de route (R1, R2).

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yugoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		

PROCEDE DE PILOTAGE D'UN VEHICULE EN VUE D'EFFECTUER UN  
CHANGEMENT DE CAP ET APPLICATION DU PROCEDE AU  
CONTOURNEMENT LATERAL D'UNE ZONE.

5 La présente invention concerne un procédé de pilotage d'un véhicule suivant une trajectoire comprenant deux segments de route non alignés définissant un changement de cap, avec survol obligatoire du point commun aux deux segments.

10 Elle s'applique notamment, mais non exclusivement, au pilotage d'un aérodrome dont la route suivie est généralement définie par un ensemble de points de passage reliés par des segments de trajectoire rectilignes, ces points de passage ou "waypoint" indiquant des changements de cap.

15 Ces changements cap doivent généralement être effectués avec un rayon de giration prédéterminé, par exemple qui varie en fonction de la vitesse de l'aérodrome de manière à conserver un angle de roulis constant. Pour respecter un rayon de giration prédéterminé, il est donc nécessaire, de commencer le virage soit avant le point de passage, auquel cas l'aérodrome se trouvera à 20 l'intérieur du virage prévu, soit au moment du survol du point de passage, auquel cas l'aérodrome se trouvera après survol du point de passage, à l'extérieur du virage prévu et devra suivre ensuite une trajectoire de rejointe vers la route initialement prévue.

25 Dans le second cas, il s'avère, comme représenté sur la figure 4, que lors de son changement de cap  $\Delta\psi$ , au moment du survol du point de passage, l'aérodrome s'éloigne significativement de la route prévue R1, R2, et se retrouve même à une distance  $d$  relativement importante de celle-ci, ce qui d'une part entraîne un allongement de trajectoire relativement important, et d'autre part 30 n'est pas souhaitable vis-à-vis de la surveillance et du contrôle aérien (respect de marges latérales de largeur variables).

La présente invention a pour but de supprimer ces inconvénients. A cet effet, elle propose un procédé de pilotage d'un véhicule en vue d'effectuer un changement de cap, le véhicule suivant une première portion de route rectiligne, pour rejoindre une seconde portion de route rectiligne formant un angle prédéterminé avec la première portion de route, en passant par le point de jonction entre les deux portions de route.

Selon l'invention, ce procédé est caractérisé en ce qu'il comprend le calcul et le suivi par le véhicule d'une trajectoire courbe de changement de cap passant par ledit point de jonction, dont le centre de giration se trouve sur la bissectrice intérieure de l'angle formé par les deux portions de route.

Une telle trajectoire de changement de cap offre de nombreux avantages par rapport à la trajectoire de l'art antérieur illustrée par la figure 4. En effet, elle permet de réaliser un gain de plusieurs secondes (jusqu'à 35 secondes ou 4,5 milles nautiques pour un virage à 90 degrés). Elle s'écarte moins de la route prévue définie par les tronçons de route rectilignes (moins de 30% de l'écart induit par la trajectoire de transition classique), ce qui présente un intérêt important pour la surveillance et le contrôle aérien. Elle présente également un risque moindre d'aboutir à des enchaînements de virages qui s'entrecroisent si les segments de route sont courts.

Par ailleurs, si on compare cette trajectoire de changement de cap avec la trajectoire classique qui est constituée par une courbe tangente aux deux portions de route, située à l'intérieur du virage, on constate que la trajectoire selon l'invention s'écarte moins des portions de route que la trajectoire classique.

Avantageusement, le procédé selon l'invention comprend le calcul et le suivi de deux portions de trajectoire courbe de liaison, respectivement entre la première portion de route et la trajectoire de changement de cap, et entre celle-ci et la seconde portion de route, ces deux portions de trajectoire de liaison ayant le même rayon de courbure que celui de la trajectoire de changement de cap, et étant tangents à celle-ci et respectivement aux deux portions de route.

30 L'invention concerne également un procédé d'évitement d'une zone polygonale fixe appliquant le procédé de changement de cap à chaque angle de la zone polygonale.

Il s'avère en effet nécessaire dans certains cas de contourner une zone avec interdiction d'y pénétrer. De tels cas se présentent notamment lorsque survient l'interdiction de survoler une zone de l'espace aérien, comme une zone militaire, ou un état.

Le procédé d'évitement vise à déterminer la nouvelle route à suivre, en réduisant au maximum la distance à parcourir. A cet effet, il comprend les étapes suivantes :

- 5 - la modélisation du contour de la zone à éviter par une forme polygonale convexe, par approximation du contour de la zone par une succession de segments, et élimination des points de concavité et des segments trop courts,
- 10 - la localisation de la route prévue par rapport à la zone modélisée,
- le calcul de tronçons de route bâbord et tribord de sortie et de retour à la route prévue, formant un angle prédéterminé avec celle-ci et rejoignant le point anguleux de la forme polygonale le plus proche de la route prévue, de manière à obtenir deux routes d'évitement bâbord et tribord formées par les tronçons de route de sortie et retour et par les portions du contour modélisé reliant respectivement les tronçons de route de transition bâbord et tribord de sortie et de retour, et
- 15
- 20 - la sélection d'une des deux routes d'évitement bâbord ou tribord.

Grâce à ces dispositions, la trajectoire suivie passe au plus près des limites de la zone sans jamais y pénétrer.

- 25 Un mode de réalisation du procédé selon l'invention sera décrit ci-après, à titre d'exemple non limitatif, avec référence aux dessins annexés dans lesquels :

30 La figure 1 représente schématiquement l'équipement électronique embarqué à bord d'un aérodrome permettant de mettre en oeuvre le procédé d'évitement selon l'invention ;

La figure 2 montre schématiquement l'algorithme exécuté pour mettre en oeuvre le procédé d'évitement ;

La figure 3 montre une zone interdite se situant sur la route d'un aérodrome pour illustrer le procédé d'évitement ;

La figure 4 représente schématiquement la trajectoire de transition entre deux tronçons de route selon l'art antérieur ;

La figure 5 montre la trajectoire de changement de cap élaborée par le procédé de pilotage selon l'invention ; et

5 La figure 6 montre la trajectoire de transition optimisée dans le cas de deux changements de cap proches.

Tel que représenté sur la figure 1, le procédé d'évitement selon l'invention est particulièrement conçu pour être exécuté par un calculateur 4 installé à bord d'un aérodrome, qui est couplé par l'intermédiaire d'un bus de transmission de 10 données 5 appelé "bus avion", aux équipements de navigation incluant un dispositif de pilotage automatique 14 et des instruments de navigation 16, à un dispositif de transmission de données 15, par exemple Data-Link, ainsi qu'à un dispositif d'interface homme/machine (IHM) 6 comprenant un élément de commande et des éléments de signalisation, tel qu'un écran de visualisation 7 15 et un haut-parleur 8 installés dans le cockpit.

D'une manière connue, le dispositif de pilotage automatique 14 comprend une mémoire dans laquelle est enregistrée la trajectoire prévue de l'aérodrome constituée d'une succession de segments de droite entre le point de départ et le point de destination, et de trajectoires de transition permettant de relier un 20 segment à l'autre.

Le dispositif de transmission de données 15 est susceptible de recevoir des informations indiquant que le survol d'une zone aérienne indiquée par exemple par son nom est momentanément interdit. Par ailleurs, le calculateur 4 est par 25 exemple couplé à une base de données géographiques de navigation 9 dans laquelle sont mémorisés notamment les contours des zones aériennes du territoire normalement survolé par l'aérodrome. Le pilote de l'aérodrome peut également introduire lui-même les contours de la zone interdite au moyen de l'interface homme/machine 6.

30 L'algorithme montré sur la figure 2 est exécuté par le calculateur 4 installé à bord de l'aérodrome. Il consiste tout d'abord à acquérir les données fournies par le dispositif de transmission de données 15 et par le pilote par l'intermédiaire du dispositif d'interface homme/machine 6 (étape 21).

Lorsqu'une information relative à l'interdiction de traversée d'une zone aérienne est reçue, le calculateur 4 procède à la localisation de la route définie par le plan de vol prévu, par rapport à la zone interdite. Pour cela, lorsque l'information reçue n'est pas complétée par une définition du contour de la zone, le calculateur 4 va rechercher ces informations dans sa base de données 9, et accède à la définition du plan de vol prévu, lequel est par exemple mémorisé par le dispositif de pilotage automatique 14 (étape 22).

Si l'aérodyne ne va pas pénétrer dans la zone interdite, on revient au début 20 de l'algorithme pour poursuivre l'analyse des informations fournies par le dispositif de transmission de données 15 et par l'IHM 6. Dans le cas contraire, le calculateur 4 envoie à l'étape 23 un message destiné à l'afficheur 7 pour avertir le pilote que la route 2 à parcourir par l'aérodyne 1 traverse une zone interdite 10 (figure 3). Cette information peut être complétée par la l'affichage 15 sur l'écran 7 de la carte de la région survolée avec indication en surimpression de la zone interdite et éventuellement de ses caractéristiques.

Le calculateur déclenche ensuite le calcul d'une trajectoire d'évitement (étape 24) qui consiste tout d'abord, à modéliser les contours de la zone interdite 10. 20 Cette modélisation consiste à assimiler le contour de la zone 10 à un polygone, puis à éliminer les angles concaves du polygone et les côtés trop courts, de manière à obtenir un polygone 11 entièrement convexe.

Il s'agit ensuite de déterminer les portions de route bâbord B1-B2 et tribord A1-25 A2 de sortie de la route prévue pour éviter la zone interdite 10. A cet effet, le calculateur 4 positionne la route 2 prévue par rapport aux contours modélisés de la zone 10. Ces portions de route s'écartent de la route prévue 2 d'un angle  $\alpha$  prédéterminé de 45 degrés ou 30 degrés en fonction de la réglementation aérienne en vigueur dans la région survolée, et rejoignent respectivement les 30 points B2, A2 du polygone 11 les plus proches de la route prévue 2 de part et d'autre du point d'entrée Z de la route prévue 2 dans le polygone 11.

Cependant, il peut s'avérer qu'il soit impossible de déterminer les portions de route de sortie, lorsque l'aérodyne 1 se trouve trop proche de la zone interdite 35 10. Cette situation se produit lorsque l'angle de sortie de la route initiale qui permet d'éviter la zone est supérieur à un angle  $\alpha$  prédéterminé. Lorsque ce cas se produit, le calculateur 4 exécute l'algorithme à partir de l'étape 29 où est déclenché l'affichage d'un message "évitement automatique impossible".

Dans le cas contraire, le calculateur 4 détermine ensuite les portions de route bâbord B3-B4 et tribord A3-A4 de retour à la route prévue 2. Ces portions de route rejoignent la route prévue avec un angle  $\alpha$  et sont reliées au polygone 11 5 respectivement aux points B3, A3 les plus proches de la route prévue 2, de part et d'autre du point de sortie Z' de la route prévue 2 du polygone 11.

Pour déterminer complètement les routes d'évitement tribord A1-A4 et bâbord B1-B4 de la zone interdite 10, il suffit ensuite de relier respectivement les 10 portions de route de sortie tribord A1-A2 et bâbord B1-B2 aux portions de route de retour tribord A3-A4 et bâbord B3-B4 par les portions de contour A2-A3, B2-B3 du polygone 11 reliant les points respectivement A2 et A3, et B2 et B3.

Les points de sortie de route tribord A1 et bâbord B1 pouvant être différents, de 15 même que les points de retour tribord A4 et bâbord B4 sur la route prévue, il importe de reconstituer des routes d'évitement ayant les mêmes points d'extrémité. Ainsi, si A1 est plus rapproché de la zone que B1, comme dans la figure 3, on rajoute le segment B1-A1 à la trajectoire tribord A1-A2-A3-A4. De même, si le point de retour B4 est plus proche de la zone que A4, on rajoute le 20 segment B4-A4 à la trajectoire bâbord B1-B2-B3-B4.

Il s'agit ensuite de choisir l'une des deux routes d'évitement tribord A1-A4 et bâbord B1-B4 ainsi déterminées. Pour cela, le calculateur 4 calcule la longueur de chacune des deux nouvelles routes B1-A1-A2-A3-A4, B1-B2-B3-B4-A4, 25 pour sélectionner la plus courte, et si ces deux nouvelles routes sont d'égale longueur, on choisit celle qui se trouve au vent de la zone 10.

La route d'évitement sélectionnée permet de modifier le plan de vol initial fourni par le dispositif de pilotage automatique 14, qui peut être affiché sur l'écran 7, 30 avec demande de validation par le pilote.

A l'étape 25, le calculateur 4 se met en attente de la validation par le pilote du nouveau plan de vol incluant la route d'évitement A1-A4 sélectionnée, et ce jusqu'à ce que soit dépassé le point de sortie A1 de la route 2 initialement 35 prévue 2 (étape 26). Pendant cette attente, le calculateur 4 calcule et affiche la valeur de la distance de ce point de sortie A1, compte tenu de la position courante de l'aérodrome 1, cette valeur étant rafraîchie périodiquement (étape 27).

Si pendant cette attente, le pilote a validé le nouveau plan de vol, celui-ci est envoyé au dispositif de pilotage automatique 14 en remplacement de celui 2 initialement prévu, qui devient alors actif (étape 28). Ce nouveau plan de vol 5 permet l'évitement automatique de la zone si les systèmes de gestion de plan de vol et de pilotage automatique en mode latéral sont en fonction.

Si le pilote n'a pas validé le nouveau plan de vol avant le franchissement du point de sortie A1, le calculateur 4 envoie à l'étape 29 un message au pilote 10 pour indiquer que ce point de sortie est dépassé et que l'évitement de la zone est maintenant impossible. Ensuite, à l'étape 30, il calcule la distance entre la position courante de l'aérodrome 1 et le point Z d'entrée dans la zone interdite délimitée par le polygone 12. Tant que l'aérodrome 1 n'a pas atteint le point Z, cette distance est affichée avec rafraîchissement périodique (étape 31). 15 Lorsque ce point Z est franchi, le calculateur 4 envoie un message d'alerte qui signale au pilote que l'aérodrome 1 se trouve dans une zone interdite (étape 32). Le calculateur 4 se met ensuite en attente de la sortie de la zone interdite 10, compte tenu de la position du point de sortie Z' de cette zone, ainsi que de la 20 position courante et de la vitesse de l'aérodrome 1 (étape 33), avant de revenir à l'étape 18 d'acquisition des données, avec effacement du message d'alerte.

Avant l'envoi du nouveau plan de vol au dispositif de pilotage automatique, mais après validation par le pilote, le calculateur 4 procède à l'étape 28 au calcul de la trajectoire permettant le suivi de ce nouveau plan de vol, et en 25 particulier, les trajectoires de transition permettant de passer d'un tronçon de route du plan de vol à un autre.

La transition au niveau des points de changement de cap tels que A1 et A4, en dehors des contours de la zone polygonale 11 se fait de manière classique par 30 l'intérieur du virage, en déterminant un cercle de rayon prédéterminé tangent aux deux tronçons de route à relier.

Lorsqu'il s'agit de points de changement de cap appartenant au contour de la zone polygonale convexe 11, il n'est pas possible d'effectuer le changement de 35 cap par l'intérieur du virage, car cela implique de pénétrer dans la zone interdite 10. Le calculateur 4 va donc, selon l'invention, élaborer une trajectoire passant par l'extérieur du virage et par le point de virage.

Tel que représenté sur la figure 5 montrant deux tronçons de route reliés à un point A, formant un angle  $\theta$ , et impliquant un changement de cap d'un angle  $\Delta\psi$ , le calculateur 4 calcule une trajectoire courbe 17 passant par le point A, dont le centre de giration O est situé sur la bissectrice intérieure 3 de l'angle  $\theta$  et à une distance R du point A. Cette distance R correspond au rayon de giration de la trajectoire courbe 17, qui est déterminé en fonction de la vitesse de l'aérodrome 1 qui doit effectuer le virage avec un angle de roulis prédéterminé.

Il s'agit ensuite de déterminer les portions de trajectoire de liaison 18, 19 entre les trajectoires rectilignes le long des tronçons de route R1, R2, et la trajectoire courbe 17. La trajectoire de liaison 18 permettant de relier le tronçon R1 avec la trajectoire courbe 17 est constituée par une portion de trajectoire courbe de même rayon de giration R, et est tangente en T1 au tronçon de route R1 et en T2 à la trajectoire courbe 17. De même la trajectoire de liaison 19 est une portion de trajectoire courbe de rayon de giration R, qui est tangente en T3 à la trajectoire courbe 17 et en T4 au tronçon de route R2.

Il est à noter que les points T2 et T3 correspondent au point d'intersection de la trajectoire courbe 17 avec les médiatrices des segments d délimités respectivement par les points d'intersection I1, I2, I3, I4 de droites perpendiculaires aux tronçons de route R1, R2, passant par le centre de giration O, avec les tronçons de route R1, R2 et la trajectoire courbe 17.

On peut également remarquer sur la figure 6 que le procédé selon l'invention convient parfaitement lorsque l'on se trouve en présence de deux points A, B de changement de cap rapprochés. Cette figure montre trois tronçons de route R1, R2, R3 reliés par les points A et B, et formant en A et B des angles  $\theta$  et  $\theta'$ . Comme précédemment, pour effectuer ces deux changements de cap, on calcule deux trajectoires courbes 17, 17' passant respectivement par A et B, et présentant un centre de giration O, O' et un rayon de giration R, ces deux trajectoires courbes rejoignant respectivement les tronçons de route R1 et R3 aux points T1 et T4' par deux trajectoires de liaison 18, 19'.

Dans l'exemple de la figure 6, il n'est pas possible de relier les trajectoires courbes 17, 17' au tronçon de route R2, celui-ci étant trop court. Dans ce cas, il suffit de relier les deux trajectoires 17, 17' par une trajectoire de liaison 20 tangente à celles-ci aux points T5 et T5'.

Si l'on compare la trajectoire de la figure 4 avec celles illustrées par les figures 5 et 6, ces dernières s'écartent beaucoup moins de la route R1-R2 prévue et rejoignent celle-ci beaucoup plus rapidement, ce qui permet une surveillance et 5 un contrôle aérien plus efficace.

Ainsi, l'écart dans le cas d'un contournement avec survol classique du point (figure 4) est égal à  $R(1-\cos \Delta\psi)$ . Dans la solution proposée par l'invention, cet écart n'est plus que de  $R(1-\cos \Delta\psi/2)$ , soit environ trois fois plus petit à 10  $\Delta\psi = 90$  degrés.

Par ailleurs, dans le cas d'un tronçon de route R2 court, d'après la figure 6, on reste proche de la route prévue. Par contre dans le cas de la figure 4, il apparaît clairement qu'on aura du mal à rejoindre le tronçon de route R3 15 suivant.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de pilotage d'un véhicule en vue d'effectuer un changement de cap, le véhicule (1) suivant une première portion de route (R1) rectiligne, pour rejoindre une seconde portion de route (R2) rectiligne formant un angle prédéterminé ( $\theta$ ) avec la première portion de route (R1), en passant par le point de jonction (A) entre les deux portions de route (R1, R2), caractérisé en ce qu'il comprend le calcul et le suivi par le véhicule (1) d'une trajectoire courbe (17) de changement de cap passant par ledit point de jonction (A), dont le centre de giration (O) se trouve sur la bissectrice intérieure (3) de l'angle ( $\theta$ ) formé par les deux portions de route (R1, R2).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre le calcul et le suivi de deux portions de trajectoire courbe de liaison (18, 19), respectivement entre la première portion de route (R1) et la trajectoire de changement de cap (17), et entre celle-ci et la seconde portion de route (R2), ces deux portions de trajectoire de liaison (18, 19) ayant le même rayon de giration (R) que celui de la trajectoire de changement de cap (17), et étant tangentes à celle-ci et respectivement aux deux portions de route (R1, R2).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, dans le cas de deux changements de cap rapprochés (A, B), il comprend en outre le calcul et le suivi d'une seconde trajectoire courbe de changement de cap (17') reliée à la première trajectoire de changement de cap (17) par une trajectoire de liaison (20) rectiligne tangente aux deux trajectoires courbes de changement de cap (17, 17').

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le rayon de giration (R) est calculé en fonction de la vitesse du véhicule (1) de manière à respecter un angle de roulis prédéterminé du véhicule.

5. Procédé pour l'évitement latéral par un véhicule d'une zone interdite (10) par le suivi d'une route d'évitement comprenant une succession de changements de cap, ledit procédé appliquant le procédé de pilotage selon l'une des revendications précédentes à chaque point de changement de cap de 5 la route, caractérisé en ce qu'il comprend une phase (24) de calcul de la route d'évitement comprenant :

10 - la modélisation du contour de la zone à éviter (10) par une forme polygonale convexe (11), par approximation du contour de la zone par une succession de segments, et élimination des points de concavité et des segments trop courts,

15 - la localisation de la route prévue (2) par rapport à la zone modélisée (11),

20 - le calcul de tronçons de route bâbord et tribord de sortie et de retour (A1-A2, B1-B2, A3-A4, B3-B4) à la route prévue (2), formant un angle ( $\alpha$ ) prédéterminé avec celle-ci et rejoignant un point anguleux (A2, B2, A3, B3) du contour polygonal (11), de manière à obtenir deux routes d'évitement bâbord (B1-B4) et tribord (A1-A4) formées par les tronçons de route de sortie (A1-A2, B1, B2) et de retour (A3-A4, B3-B4) et par les portions (A2-A3, B2-B3) du contour modélisé (11) reliant respectivement les tronçons de route bâbord et tribord de sortie et de retour (A1-A2, B1-B2, A3-A4, B3-B4), et

25 - la sélection d'une (A1-A4) des deux routes d'évitement bâbord (B1-B4) et tribord (A1-A4).

30 6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les tronçons de route bâbord et tribord de sortie et de retour (A1-A2, B1-B2, A3-A4, B3-B4) relient la route prévue (2) respectivement aux points anguleux (A2, B2, A3, B3) du contour polygonal (11), situés de part et d'autre de la route prévue, et les plus proches des points d'intersection (Z, Z') de la route prévue (2) avec le contour polygonal (11).

35 7. Procédé selon la revendication 5 ou 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre l'ajout aux deux routes d'évitement tribord (A1-A4) et bâbord (B1-B4) de tronçons (B1-A1, B4-A4) de la route

initiale (2) de manière à ce que les deux routes d'évitement aient les mêmes extrémités, le calcul et la comparaison de la longueur des routes d'évitement bâbord (B1-B4-A4) et tribord (B1-A1-A4) obtenues, la route d'évitement (B1-A1-A4) la plus courte étant sélectionnée.

5

8. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend une étape préalable de recherche du tronçon de la route prévue (2) traversant la zone interdite (10), et de calcul du point d'entrée (Z) prévu dans ladite zone, le calcul de la route d'évitement étant 10 effectué si le véhicule (1) se trouve suffisamment éloigné du point d'entrée prévu (Z) compte tenu de la vitesse du véhicule.

9. Procédé selon l'une des revendications 5 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre périodiquement le calcul et 15 l'affichage (27) de la distance entre la position courante du véhicule (1) et le point de sortie (A1) de la route initiale (2) vers la route d'évitement (A1-A4) sélectionnée, l'activation (28) de la nouvelle route incluant la route d'évitement sélectionnée étant effectuée si cette nouvelle route a été validée.

20

10. Procédé selon l'une des revendications 5 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend périodiquement le calcul et l'affichage (31) de la distance entre la position courante du véhicule (1) et de la zone à éviter (10), si le point de sortie (A1) est dépassé sans que la nouvelle route ait été validée, et l'affichage (32) d'un message d'alerte lorsque le véhicule (1) pénètre dans la 25 zone à éviter (10).

Fig.1

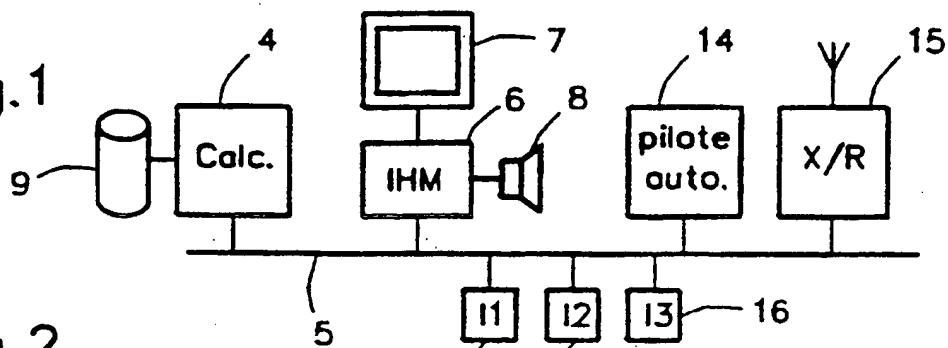


Fig.2

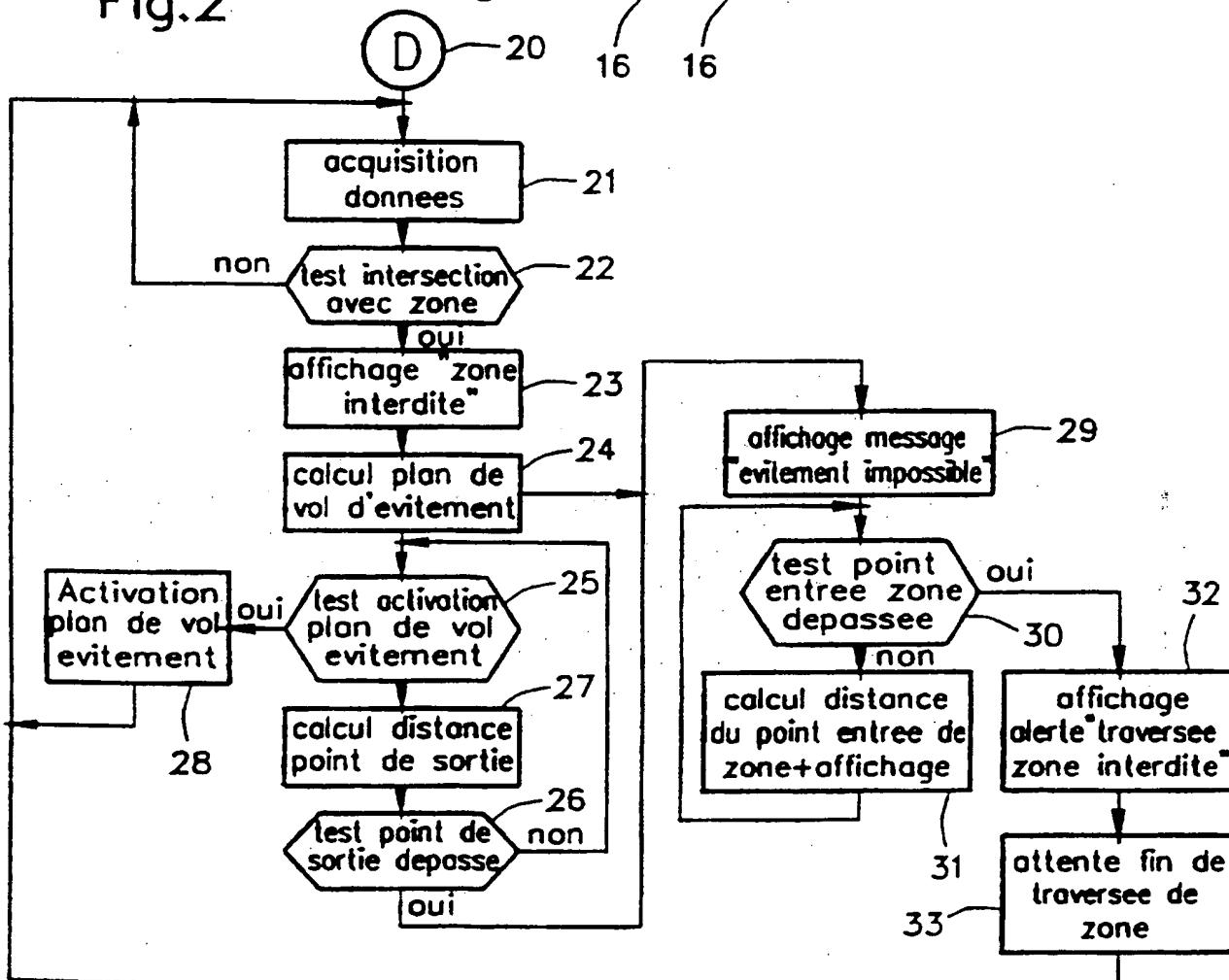


Fig.3

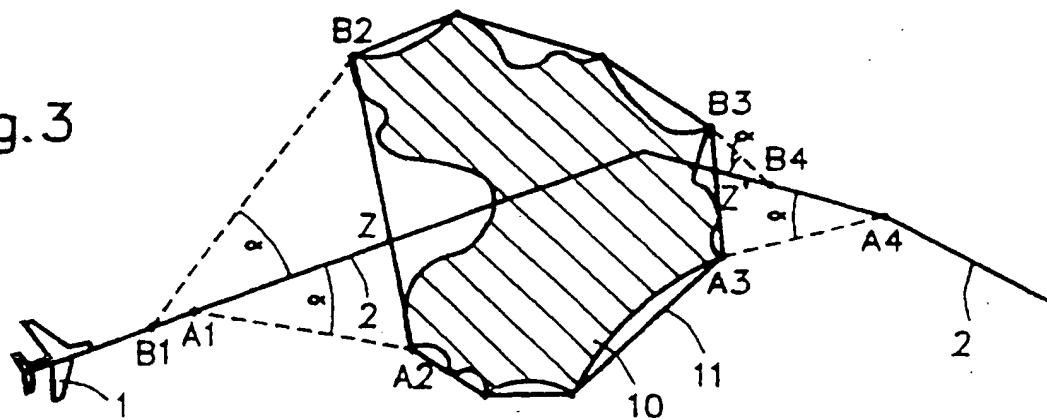


Fig.4

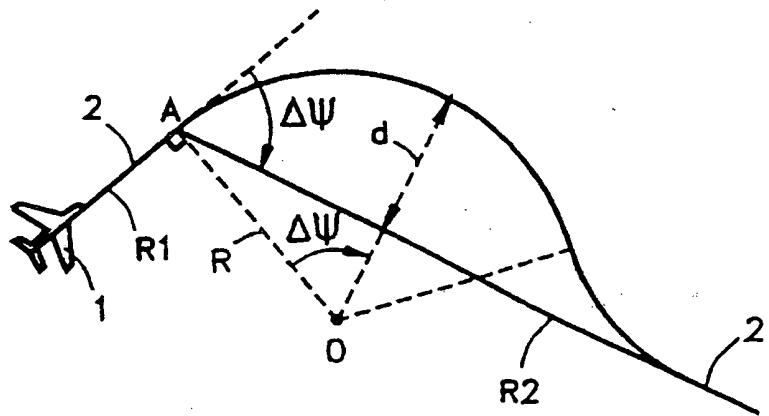


Fig.5

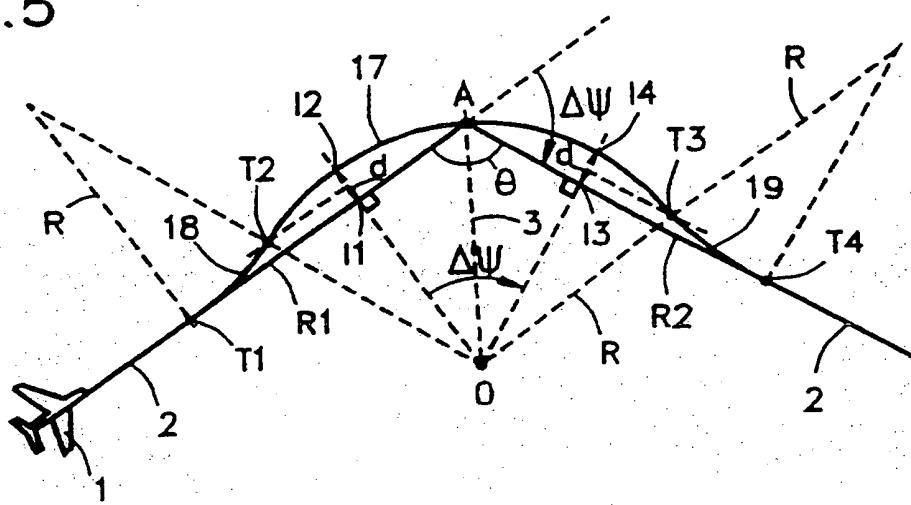
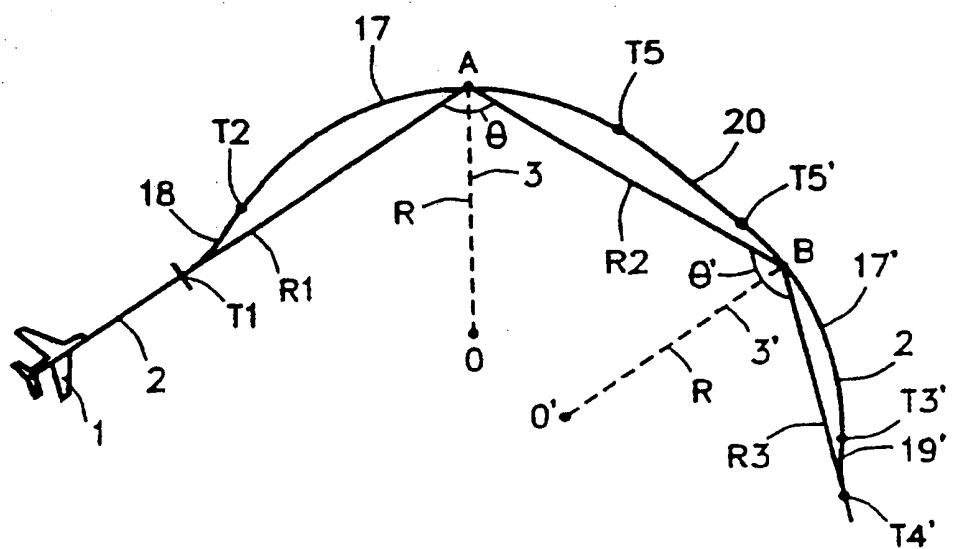


Fig.6



A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 6 G01C21/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 6 G01C G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 95 19547 A (HONEYWELL INC) 20 July 1995 see the whole document ---	1
A	WO 95 19545 A (HONEYWELL INC) 20 July 1995 see the whole document ---	1
A	EP 0 381 178 A (HONEYWELL INC) 8 August 1990 see the whole document ---	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

\*&\* document member of the same patent family

1

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

12 August 1997

03.09.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kelperis, K

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE TECHNOLOGY, WASHINGTON, JUNE 5 - 6, 1990, no. -, 5 June 1990, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 150-155, XP000145924</p> <p>SMITH T C ET AL: "AUV CONTROL USING GEOMETRIC CONSTRAINT-BASED REASONING" see the whole document</p> <p>---</p>	1
A	<p>PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE TECHNOLOGY, WASHINGTON, JUNE 5 - 6, 1990, no. -, 5 June 1990, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 213-215, XP000145933</p> <p>DEMUTH G ET AL: "OBSTACLE AVOIDANCE USING NEURAL NETWORKS" see the whole document</p> <p>-----</p>	1

1

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9519547 A	20-07-95	CA 2180452 A EP 0740772 A US 5631640 A	20-07-95 06-11-96 20-05-97
WO 9519545 A	20-07-95	CA 2181458 A EP 0740773 A	20-07-95 06-11-96
EP 0381178 A	08-08-90	JP 3009211 A US 5086396 A	17-01-91 04-02-92

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
**CIB 6 G01C21/00**

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
**CIB 6 G01C G05D**

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porte la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 95 19547 A (HONEYWELL INC) 20 Juillet 1995 voir le document en entier ---	1
A	WO 95 19545 A (HONEYWELL INC) 20 Juillet 1995 voir le document en entier ---	1
A	EP 0 381 178 A (HONEYWELL INC) 8 Août 1990 voir le document en entier ---	1

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventée par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventée lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

1

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12 Août 1997

03.09.97

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
 Fax (+ 31-70) 340-3016

Fonctionnaire autonome

Kelperis, K

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE TECHNOLOGY, WASHINGTON, JUNE 5 - 6, 1990,</p> <p>no. -, 5 Juin 1990, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 150-155, XP000145924</p> <p>SMITH T C ET AL: "AUV CONTROL USING GEOMETRIC CONSTRAINT-BASED REASONING"</p> <p>voir le document en entier</p> <p>---</p>	1
A	<p>PROCEEDINGS OF THE SYMPOSIUM ON AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE TECHNOLOGY, WASHINGTON, JUNE 5 - 6, 1990,</p> <p>no. -, 5 Juin 1990, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 213-215, XP000145933</p> <p>DEMUTH G ET AL: "OBSTACLE AVOIDANCE USING NEURAL NETWORKS"</p> <p>voir le document en entier</p> <p>-----</p>	1

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9519547 A	20-07-95	CA 2180452 A EP 0740772 A US 5631640 A	20-07-95 06-11-96 20-05-97
WO 9519545 A	20-07-95	CA 2181458 A EP 0740773 A	20-07-95 06-11-96
EP 0381178 A	08-08-90	JP 3009211 A US 5086396 A	17-01-91 04-02-92

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

**BLACK BORDERS**

**IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

**FADED TEXT OR DRAWING**

**BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

**SKEWED/SLANTED IMAGES**

**COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

**GRAY SCALE DOCUMENTS**

**LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

**REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

**OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**